

Porovnání polévací metody a metody plněného profilu při výrobě litiny s kuličkovým grafitem v provozních podmínkách

Comparison of the Pouring Method and Cored Wire Method in Production of Ductile Cast Iron under Operating Conditions

doc. Ing. Ladislav Socha, MBA, Ph.D.¹; doc. Ing. Karel Gryc, MBA, Ph.D.¹; Ing. Kamil Koza¹; doc. Ing. Josef Odehnal, Ph.D.¹; Ing. Bc. Jana Sviželová, Ph.D.¹; Ing. Miroslav Chmiel²; Ing. Petra Fronková²

¹ Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, Okružní 517/10, 370 01 České Budějovice, Česká republika

² KOVOSVIT MAS Foundry, a.s., Náměstí T. Bati 419, 391 02 Sezimovo Ústí, Česká republika

Při výrobě litiny s kuličkovým grafitem jsou nezbytnými kroky pro získání kulovitého tvaru grafitu modifikace a očkování. Ve slévárně KOVOSVIT MAS Foundry, a.s. je pro modifikaci a očkování používána převážně polévací metoda v pánvi. V současné době je v provozních podmínkách testována metoda plněných profilů. Je využíván kombinovaný podavač modifikačního a očkovacího profilu, což umožňuje současnou modifikaci i očkování. Pro srovnání uvedených dvou metod byly provedeny série experimentálních taveb s odběrem vzorků pro hodnocení chemického složení, mikrostruktury a mechanických vlastností. Ze srovnání výsledků polévací metody a metody plněných profilů vyplynulo, že obě splňují požadavky pro materiál EN-GJS-400-18-LT a moderní metoda plněných profilů může nahradit tradiční polévací metodu.

Klíčová slova: litina s kuličkovým grafitem; modifikace; očkování; plněný profil; provozní experiment

In the production of ductile cast iron modification and inoculation are necessary steps to produce nodular graphite. In KOVOSVIT MAS Foundry, a.s., the primary method used for modification and inoculation is the pouring method. Currently, the cored wire method is being operationally tested and implemented. It features a twin wire feeder allowing simultaneous modification and inoculation. To compare the two methods, experimental melts were carried out in the foundry with sampling for chemical analysis, metallography and mechanical tests. By comparing the results of the pouring method and the cored wire method, it was found that both meet the requirements for EN-GJS-400-18-LT material, and the cored wire method can therefore replace the pouring method.

Key words: ductile cast iron; modification; inoculation; cored wire; operational experiment

Litina s kuličkovým grafitem je moderní materiál s vynikajícími mechanickými vlastnostmi [1-3]. Obzvláště litiny s kuličkovým grafitem a feritickou maticí dosahují houževnatosti a pevnosti srovnatelné s ocelí [4]. Výhodou oproti ocelím jsou lepší slévárenské vlastnosti [1]. Litina s kuličkovým grafitem je také relativně levná [5]. Díky svému vlastnostem tak nachází uplatnění například při výrobě pracovních strojů, v automotive, nebo v komponentech větrných elektráren [3, 6]. Mechanické vlastnosti litin jsou ovlivněny tvarem, nodularitou a rozložením grafítových kuliček s vysokou nodularitou a malým průměrem má pozitivní vliv na vlastnosti litiny [2]. Grafit se v litině běžně vyskytuje ve formě lupínků, ovšem přidávkou Mg nebo Ce dochází k formování grafitických kuliček [4, 8] a ke změně mechanických vlastností materiálu.

Existuje několik teorií o působení prvků způsobujících vznik kulatého tvaru vyloučeného grafitu. Jedna z teorií tvrdí, že tvar vyloučeného grafitu je závislý na druhu krystalizačního zárodku. Zárodky FeS, SiO₂ či SiC mají hexagonální mřížku a způsobují růst lupínkového grafitu. Ovšem přidávkou Mg do taveniny dochází k redukci těchto vměstků se šesticennou mřížkou a jsou nahrazovány

sloučeninami MgS, MgO či Mg₂Si, které mají krychlovou mřížku a podporují růst nodulárního grafitu. Přítomnost Mg a S ve středu grafitové kuličky byla potvrzena metalografií a rentgenovou spektrální mikroanalýzou [9, 10]. Další teorie uvažují o vlivu fyzikálně chemických vlastností taveniny, především povrchového napětí, na utváření nodulárního grafitu. Přídavek Mg způsobuje nárůst povrchového napětí taveniny, které způsobuje vznik globulárního grafitu [9]. Poslední zde zmíněná teorie předpokládá, že grafit, či krystal grafitu, roste dendritickým způsobem tak, že vznikající drobná částice grafitu se rozvíjí do několika větví, které se dále rozvíjejí. Jestliže je frekvence vzniku nových větví grafitického dendritu relativně nízká, vytváří se síť vnitřního propojení typická pro lupínkový grafit. Jestliže se frekvence větvení drasticky zvýší, vytváří se globulární, zrnitý grafit. Adsorpcí Mg na povrch grafitového zárodku se omezí rychlost růstu grafitu v různých směrech a grafit nabývá již od začátku svého růstu zrnitý tvar. Během dalšího tuhnutí je zcela obalen austenitem, takže jeho růst je možný pouze pomocí difuze uhlíku ze zbytkové taveniny přes austenit [10].

Přídavek Mg za účelem získání kuličkového grafitu se nazývá modifikace. K dosažení kuličkového grafitu musí litina obsahovat alespoň 0,025 % Mg, obvyklý je obsah

0,030-0,060 %. Modifikace se provádí čistým Mg nebo jeho slitinami. Z důvodu bouřlivé reakce se obvykle nemodifikuje čistým Mg, ale předslitinami FeSiMg. Modifikace čistým Mg je použitelná u metod umožňujících omezit nebo regulovat bouřlivost reakce, např. ve sferoklávu nebo konvertoru. Mg se v tavenině vypařuje a jeho páry probublávají na povrch, přitom reagují se S a O rozpustěným v litině a tvoří chemické sloučeniny. Tyto vměstky se nazývají sekundární struska. Část Mg par unikne z taveniny a oxiduje nebo reaguje na hladině. Jen ta část Mg, která se rozpustí v kovu, vede ke vzniku kuličkového grafitu. Tento Mg se nazývá zbytkový – Mg_{zbyt} a jeho obsah nemá být příliš vysoký, neboť vzniká více vměstků a litina má větší sklon k zákalce, tzv. bílému tuhnutí a vzniku cementitu. Dávkování Mg se provádí podle množství S ve výchozí slitině a podle předpokládaného využití Mg. Protože Mg působí antigrafitizačně, je nutné kov dobře očkovat. Očkování se provádí současně s modifikací nebo po ní, někdy také dvoustupňově, poprvé při modifikaci, podruhé během lití [11].

Existuje řada metod modifikace, lišících se způsobem vpravení Mg do kovu, druhem modifikačního prostředku, využitím Mg či investičními náklady. Polévací metoda, nazývaná též Sandwich, se provádí v otevřené pánvi, na jejímž dně je připravena vrstva předslitiny Mg pro modifikaci, na ní je vrstva očkovadla překrytá ocelovým plechem nebo plechovými odstřížky. Vrstva oceli brání vyplouvání Mg a očkovadla na hladinu a oddaluje začátek modifikační reakce. Bouřlivost reakce je potlačována metalostatickým tlakem, proto je vhodné používat vysoké štíhlé pánve. [11]. Modifikace plněným profilem využívá práškový modifikátor obalený dutým tenkostěnným ocelovým profilem o průměru 7–13 mm. Profil je podavačem zaváděn do pánve s taveninou takovou rychlostí, aby docházelo k roztavení u dna pánve. Metoda plněného profilu je použitelná pro taveninu z kuploven i z elektrických pecí [12]. Obecně je výhodou použití plněného profilu automatizované řízení, snížení výrobních nákladů a ochrana životního prostředí [13].

Pro zabezpečení dostatečného počtu zrn grafitu a eutektických buněk se provádí očkování. Zajišťuje tvorbu grafitizačních zárodků při eutektické krystalizaci a tím omezuje sklon litiny tuhnout s vyloučením volného cementitu. Mg používaný k modifikaci působí antigrafitizačně, čímž zvyšuje sklon k metastabilnímu tuhnutí a vylučování karbidů. Proto je vhodné litinu s kuličkovým grafitem očkovat podruhé (sekundárně, tzv. grafitizačně) [10]. Očkovadla jsou tvořena nosičem a krystalizační složkou. Nosič tvoří hlavní část hmoty očkovadla, sám o sobě však nemá očkující účinek. Očkovací složka je v očkovadle obsažena pouze v malé koncentraci. Aktivními prvky jsou Ca, Al, Sr, Ba nebo Zr. Tyto prvky reagují zejména s O a S za vzniku nukleárních zárodků grafitu, případně aktivizují zárodky v litině již přítomné. Očkovací účinek je omezený, průběhu času dochází k jeho odeznívání. To je způsobeno koagulací zárodků, jejich

hrubnutím a rychlejším vyplouváním a homogenizací taveniny, kdy mizí oblasti s místním přesycením grafitotvorných prvků. Z tohoto důvodu je nutné litinu odlít co nejrychleji po naočkování, ideálně do 10 minut [11].

Metod očkování existuje velké množství, některé jsou shodné s metodami modifikace. Například metoda Sandwich umožňuje současné očkování spolu s modifikací, jak bylo popsáno výše. Pro očkování je možné využít taktéž plněného profilu, se stejným uspořádáním, principem a výhodami jako u modifikace. Při využití dvoužilového podavače, kdy jeden profil je modifikační a druhý očkovací, je možné provádět modifikaci s očkováním zároveň. Tímto uspořádáním je zajištěna stabilita a kvalita procesu, je zvýšena bezpečnost, kdy nedochází k úniku prachu a roztaveného kovu z pánve. Proces je méně náchylný na proměnlivý obsah síry, teplotu a množství zpracovávané taveniny v pánvi, řídící jednotka umožňuje automatický záznam procesních dat. Dochází ke zvýšení efektivity a redukci nákladů snížením tepelných ztrát, opotřebením vyzdívky a nároků na pracovní sílu [12, 14]. Poslední zde zmíněnou metodou očkování je tzv. In-mold, neboli očkování při lití ve formě. V tomto uspořádání je očkovadlo umístěno přímo ve vtokové soustavě formy a dochází k jeho postupnému rozpouštění a průběžnému očkování taveniny. Metoda je vhodná pro sekundární tzv. grafitizační očkování. Důležitým parametrem při výběru očkovadla pro technologii In-mold je jeho rozpustnost v tavenině [15].

Jak bylo uvedeno v dřívější práci [16], slévárna KOVOSVIT MAS Foundry, a.s. je schopna vyrábět litinu s kuličkovým grafitem v požadované kvalitě při využití různých kombinací vsázkových materiálů, modifikátorů a očkovadel. Běžně je v provozních podmínkách užívána pro modifikaci a očkování polévací metoda. V současnosti je však v provozních podmínkách zaváděna moderní technologie plněného profilu pro modifikaci a očkování, čímž dojde k zefektivnění procesu výroby.

Pro experimentální tavby byl vybrán odlitek typu SCHAFT 1, určený pro výrobce lodních manipulátorů pro lodě střední velikosti. U tohoto typu odlitku je požadována nadstandardní úroveň kvality materiálu. Odlitek je vyráběn z materiálu EN-GJS-400-18-LT, který představuje litinu s kuličkovým grafitem a feritickou maticí se zaručenou hodnotou nárazové práce při teplotě -20 °C dle ČSN EN 1563 [17]. V rámci realizované série experimentů byla u části taveb použita polévací metoda / sandwich a u části metoda plněného profilu. Souběžně s odlitkem byly v rámci vtokové soustavy formy přilévány zkušební vzorky, tzv. Y-bloky, ze kterých byla vyrobena zkušební tělesa pro zkoušky mechanických vlastností [17] a metalografickou analýzu [18-20]. Cílem práce bylo prokázání úspěšné implementace procesu plněných profilů do technologického procesu a schopnost standardizované výroby vysoce jakostních odlitků touto metodou.

Charakteristika použitých postupů výroby odlitku SCHAFT 1

Pro srovnání obou technologií byla od každé vybrána jedna reprezentativní tavba. Pro polévací metodu/sandwich se jednalo o tavbu označenou TD75, pro metodu plněného profilu pak o tavbu označenou TO93.

Pro výrobu odlitku SCHAFT 1 bylo definováno chemické složení taveniny před odpichem, pro představu

uvedené v tab. 1. Dále bylo navrženo finální chemické složení taveniny pro odlitek, které je uvedeno v tab. 2. Je vhodné uvést, že chemické složení taveniny se pro polévací metodu a metodu plněného profilu nelišilo.

V předchozích pracích bylo zjištěno, že výběr vsázkových materiálů nemá na konečnou kvalitu odlitku zásadní vliv, pokud jsou poměr a kombinace vsázkových materiálů správně vypočítány pro požadované složení [16]. Pro představu je složení vsázky obou vybraných taveb uvedeno v tab. 3.

Tab. 1 Chemické složení materiálu EN-GJS-400-18-LT před odpichem

Tab. 1 Chemical composition of material EN-GJS-400-18-LT before tapping

Rozsah	Chemické složení [hm. %]							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg	Cr
Min.	3,40	0,80	0,10	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Max.	3,50	0,90	0,15	0,040	0,015	0,05	xxx	0,02

Tab. 2 Navržené finální chemické složení materiálu EN-GJS-400-18-LT pro odlitek SCHAFT 1

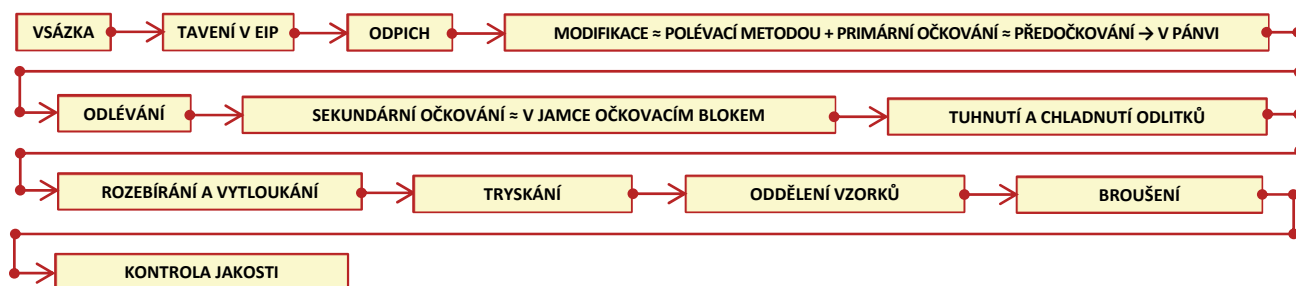
Tab. 2 Proposed chemical composition of material EN-GJS-400-18-LT for SCHAFT 1 casting

Rozsah	Chemické složení [hm. %]							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg	Cr
Min.	3,30	1,70	0,10	xxx	xxx	xxx	0,040	xxx
Max.	3,40	1,90	0,15	0,040	0,010	0,05	0,060	0,02

Tab. 3 Složení vsázky u taveb TD75 a TO93 při výrobě materiálu EN-GJS-400-18-LT

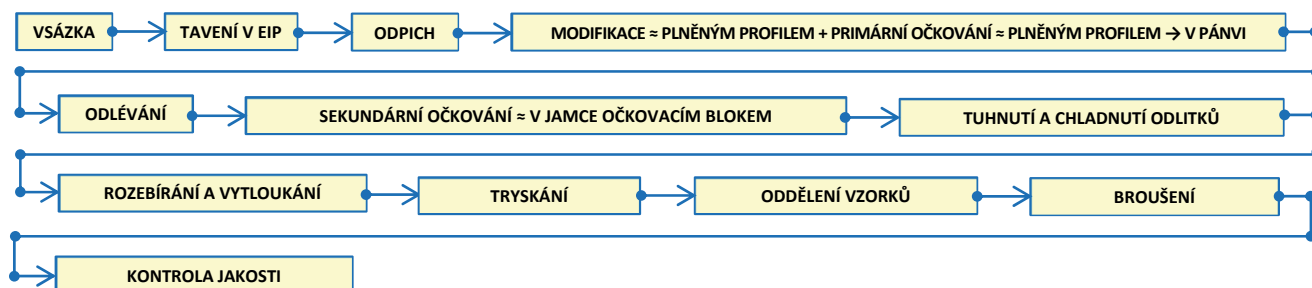
Tab. 3 Charge composition for melts TD75 and TO93 in the production of EN-GJS-400-18-LT

Označení tavby	Podíl vsázkových materiálů jednotlivých taveb [hm. %]				
	Surové železo		Ocelový odpad		Vratný materiál
	Sorel	Pig Nod	Kupol Mn 0,3 %	Si plechy	Najížděcí blok
TD75	38,5	20,0	27,7	13,8	xxx
TO93	36,8	xxx	36,8	xxx	26,4



Obr. 1 Schéma technologického postupu při použití polévací metody / sandwich

Fig. 1 Schematic of the process flow using the pouring method



Obr. 2 Schéma technologického postupu při použití plněných profilů

Fig. 2 Schematic of the process flow using the cored wire method

V rámci provozních experimentů byla provedena série experimentálních taveb, při kterých byly vyzkoušeny 2 kombinace odlišných technologií modifikace a očkování. Na obr. 1 je zobrazen průběh technologického postupu při použití polévací metody, na obr. 2 pak průběh technologického postupu při použití plněného profilu. Oba technologické postupy se liší pouze způsobem modifikace a očkování, přičemž uvedené postupy se skládají z následujících kroků:

- vsázka → sestavení vsázky a její výběr byl řízen individuálně dle metalurgické a chemické kvality dostupných surovin se zaručeným chemickým složením. Pro výrobu byly použity následující vsázkové materiály: surové železo × ocelový odpad × vlastní vrat v různých poměrech
- tavba → byla vedena dle potřeby množství taveniny odpovídající počtu odlévaných odlitků, přičemž bylo prováděno odlévání 1 nebo 2 kusů. Byla používána středofrekvenční pec o kapacitě 6 t
- po roztavení vsázky a dosažení vzorkovací teploty ($t = 1350-1400\text{ }^{\circ}\text{C}$) byla důkladně stažena struska, změřena teplota lázně a odebrán vzorek pro 1. zkoušku se zaměřením na následující prvky: C, Si, Mn, P, S, Cu a Cr. Následně byla provedena korekce chemického složení taveniny. V průběhu tavby byla tavenina udržována na minimální teplotě
- před odpichem bylo chemické složení ověřeno chemickou laboratoří se zaměřením na následující prvky: C, Si, Mn, P, S, Cu, Mg a Cr. Cílem tavby bylo dosažení požadovaného chemického složení a dodržení správného teplotního režimu → $t_{\max} = 1380-1420\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- modifikace / polévací metoda / sandwich → před odpichem je do lázně přidána jedna houska surového železa Pig Nod pro lepší tvorbu zárodků. Před modifikací byla pánve vypláchnuta tekutým kovem pro dostatečné nahřátí vyzdívky. Následně byly na dno přidány předslitiny v následujícím pořadí: FeSiMg731 – modifikátor, Inocast100 – očkovač a třísky LLG – pro zpoždění reakce
- kromě modifikace je v pánvi při odpichu provedeno i primární očkování, tzv. předočkování pomocí očkovačů
- očkování / polévací metoda / sandwich → je prováděno ve dvou fázích, nejprve částečně v průběhu odpichu do pánve tzv. předočkování a následně probíhá tzv. hlavní očkování, které je realizováno v jamce pomocí očkovačů, a to v průběhu odlévání odlitku
- pro optimalizaci struktury litiny očkováním bylo použito očkovač Inocast100 k tzv. předočkování a očkovač bloky Germalloy k tzv. hlavnímu očkování. Typ a množství očkovačů bylo zvoleno v závislosti na množství tekutého kovu a době lití vybraného typu odlitku
- modifikace / plněný profil → je provedena po odpichu při využití modifikačního boxu s plněným profilem typu Rumag 25HS. Množství modifikačního plněného profilu je dáno výpočtem. Do softwaru modifikačního boxu se zadává počáteční obsah síry, množství modifikovaného

kovu a teplota taveniny. Dle zadaných parametrů (včetně přednastavených parametrů představující konečný obsah Mg a využití Mg) provede program výpočet délky modifikačního profilu

- očkování / plněný profil → je prováděno ve dvou fázích, nejprve tzv. předočkování, a to injektáží plněného profilu, a následně probíhá tzv. hlavní očkování, které je realizováno v jamce pomocí očkovačů, a to v průběhu odlévání odlitku
- primární očkování / plněný profil / tzv. předočkování je provedeno injektáží očkovačů plněného profilu typu Inform SB13 v modifikačním boxu. Podávání očkovačů plněného profilu je zahájeno ke konci injektáže modifikačního plněného profilu typu Rumag 25HS tak, aby oba procesy skončily současně
- sekundární očkování / tzv. hlavní očkování je realizováno v jamce pomocí očkovačů bloků typu Germalloy, a to v průběhu odlévání odlitku. Typ a množství očkovačů bylo zvoleno v závislosti na množství tekutého kovu a době lití vybraného typu odlitku
- odlévání, dokončovací operace a výstupní kontrola → před odléváním byla stažena struska. Po odlévání a chladnutí následovalo rozebrání formy, vytloukání odlitku, otryskání a uložení do skladovacího prostoru
- ke každému odlitku byly v rámci formy souběžně přilévány zkušební Y-bloky, ze kterých byla poté vyrobena zkušební tělesa pro metalografickou analýzu a zkoušky mechanických vlastností. Následovaly kontroly odlitku, mezi něž patří vizuální kontrola a kontrola pomocí ultrazvuku.

Analýza vzorků z experimentálních taveb

V průběhu realizace experimentálních taveb byly průběžně a z vybraných míst odebrány vzorky z taveniny se současným měřením teplot. Proběhlo také souběžné odlévání Y-bloků umístěných ve vtokové soustavě. Odebrané vzorky byly označeny a postupně analyzovány. Specifikace jednotlivých analýz jsou uvedeny níže:

- analýza chemického složení → byla provedena pomocí optické emisní spektrometrie (OES) s vybuzením vysokoenergetickým jiskrovým výbojem na přístroji Q4 TASMAN. Přesný obsah C a S byl stanoven pomocí spalovací analýzy ve vysokofrekvenční peci LECO CS230 v proudu kyslíku. Dále byl z naměřených hodnot vypočten uhlíkový ekvivalent CE a stupeň nasycení (eutektičnosti) SC.
- metalografická analýza → byla zaměřena na mikroskopické hodnocení s cílem stanovení dosahované struktury materiálu EN-GJS-400-18-LT. Na vzorcích vyrobených ze zkušebních těles typu Y-blok bylo prováděno metalografické hodnocení s využitím světelného mikroskopu a obrazové analýzy se zaměřením na mikrostrukturu litiny s kuličkovým grafitem. Hodnocení grafitu bylo provedeno dle následujících norem: ČSN EN ISO 945-1 → zaměřeno na klasifikaci grafitu vizuální analýzou, ASTM A247 →

hodnocení nodularity grafitu a ČSN 420461 → hodnocení matrice litin. Tímto způsobem bylo možno získat komplexní představu o struktuře materiálu EN-GJS-400-18-LT.

- mechanické vlastnosti → byly zaměřeny na zkoušky v tahu, zkoušky tvrdosti a zkoušky rázem v ohybu (Charpyho kladivo). Uvedené testy umožnily stanovit mez pevnosti v tahu R_m , mez kluzu $R_{p0,2}$, tažnost A_5 , tvrdost dle Brinella HB a nárazovou práci KV_2 za nízké teploty $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Výsledky a diskuse

Po provedení experimentálních taveb bylo realizováno hodnocení se zaměřením na stanovení mechanických vlastností, metalografické vyhodnocení a hodnocení mikrostruktury [17-20]. Výsledky jsou souhrnně uvedeny v tzv. metalografických kartách. Příklad takové karty pro tavby TD75 a TO93 je uveden v tab. 4 až tab. 7 a na obr. 3 a obr. 4. Z výsledků lze získat představu o mechanických vlastnostech a výsledné struktuře materiálu EN-GJS-400-18-LT při odlévání odlitku typu SCHAFT 1 při aplikaci odlišných technologií modifikace a očkování.

Dosažené chemické složení uvedené v tab. 5 odpovídá chemickému složení potřebnému pro materiál EN-GJS-400-18-LT, jak je uvedeno v tab. 2, až na několik odchylek v řádu maximálně setin procenta u C, P a Cr. Nicméně tyto drobné odchylky nemají negativní vliv na mechanické vlastnosti materiálu, jak bude uvedeno dále.

Z tab. 6 vyplývá, že u tavby TD75 bylo dosaženo vyšších hodnot meze pevnosti R_m a tažnosti A_5 . U tavby TO93 bylo dosaženo vyšších hodnot meze kluzu $R_{p0,2}$, tvrdosti HB a nárazové práce při $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ KV_2 . Při srovnání s požadavky dle ČSN EN 1563 je patrné, že obě tavby splňují požadavky na mechanické vlastnosti pro materiál EN-GJS-400-18-LT definované normou při směrnaté tloušťce stěny $60 < t \leq 200\text{ mm}$ [17].

Z výsledků uvedených v tab. 7 bylo zjištěno, že u tavby TD75 bylo získáno mírně více grafitových částic větší velikosti než u tavby TO93. Tvar grafitu a nodularita byly u obou taveb srovnatelné. Obsah perlitu byl u obou taveb minimální, do 2 %. Získaná mikrostruktura tak u obou taveb odpovídá litině s kuličkovým grafitem s velkým počtem částic grafitu malé velikosti, převážně pravidelně zrnitého tvaru VI a s feritickou matricí. Na obr. 3 a 4 jsou uvedeny snímky struktur obou taveb před leptáním → stanovení počtu částic, velikosti, tvaru a nodularity, a po leptání → určení poměru ferit/perlit [18-20].

Tab. 4 Charakteristika průběhu modifikace a očkování

Tab. 4 Characterisation of modification and inoculation processes

Technologie	Označení tavby	Modifikátor: název → množství [hm. %]	Předočkování: název → množství [hm. %]	Hlavní očkování: název → množství [hm. %]
Polévací metoda	TD75	FeSiMg731 → 1,8 %	SB10 → 0,1 %	Germalloy → 2x P2+P300
Plněný profil	TO93	Rumag 25HS → 0,51 %	Inform SB13 → 0,15 %	Germalloy → 2x P2+P300

Tab. 5 Dosažené chemické složení experimentálních taveb

Tab. 5 Achieved chemical composition of experimental melts

Označení tavby	Chemické složení [% hm.]								Parametry	
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg	Cr	CE	Sc
TD75	3,32	1,74	0,11	0,049	0,008	0,01	0,053	0,02	3,86	0,90
TO93	3,44	1,81	0,13	0,035	0,010	0,03	0,051	0,03	3,99	0,94

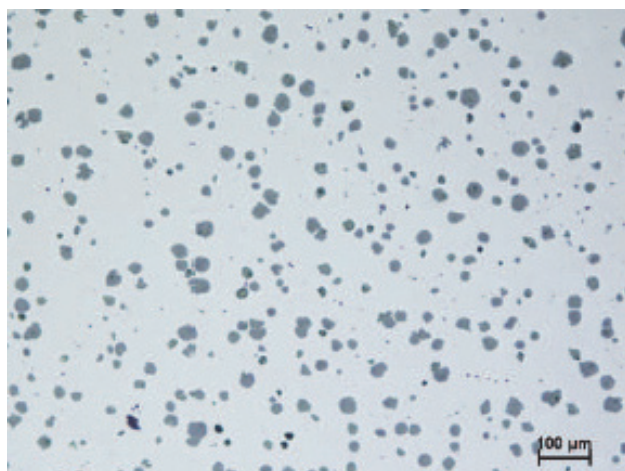
Tab. 6 Dosažené mechanické vlastnosti experimentálních taveb

Tab. 6 Achieved mechanical properties of experimental melts

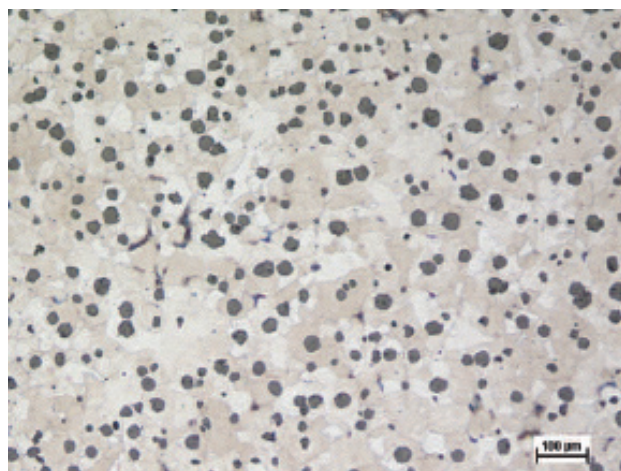
Parametry	Hodnoty dle ČSN EN 1563		Hodnoty dosažené	
			Tavba TD75	Tavba TO93
Mez pevnosti R_m [MPa]	Min. 360 MPa		413 MPa	408 MPa
0,2 % smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Min. 220 MPa		251 MPa	287 MPa
Tažnost A_5 [%]	Min. 12 %		21,4 %	18,4 %
Tvrdost → dle Brinella [HB]	Min. 130 HB		131 HB	164 HB
Min. hodnoty nárazové práce KV_2 [J]	Nízká teplota $(-20 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ → tavba TD75			
	Střední hod. (3 zk.)		Jednotlivá hod.	Střední hod. (3 zk.)
	10 J		7 J	13 J
	Nízká teplota $(-20 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ → tavba TO93			
	Střední hod. (3 zk.)		Jednotlivá hod.	Střední hod. (3 zk.)
	10 J		7 J	17 J

Tab. 7 Hodnocení metalografické struktury experimentálních taveb
Tab. 7 Evaluation of metallographic structure of the experimental melts

Označení tavby	ČSN EN ISO 945-1	ASTM A 247	ČSN 420461
TD75	Tvar grafitu: 93 % VI + 7 % V	Nodularita: 93 %	Perlit obsah P1: P0 (do 2 %)
	Velikost grafitu: 6/7	Počet částic/mm ² : 298	xxx
	Velikost útvarů grafitu: 15–60 μm	xxx	xxx
TO93	Tvar grafitu: 94 % VI + 6 % V	Nodularita: 95 %	Perlit obsah P1: P0 (do 2 %)
	Velikost grafitu: 7/8	Počet částic/mm ² : 269	xxx
	Velikost útvarů grafitu: <15 až 30 μm	xxx	xxx

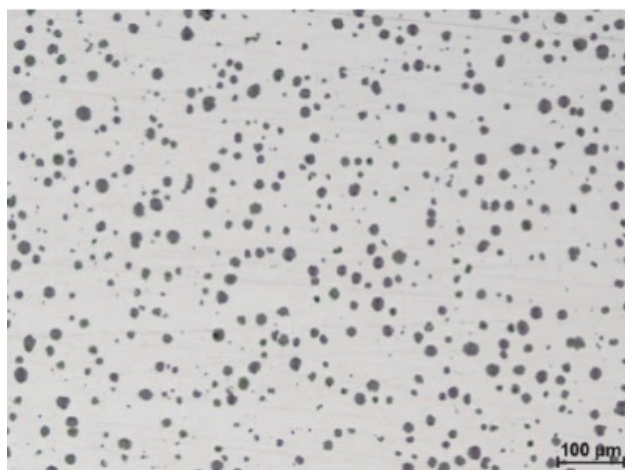


a) před leptáním
a) before etching

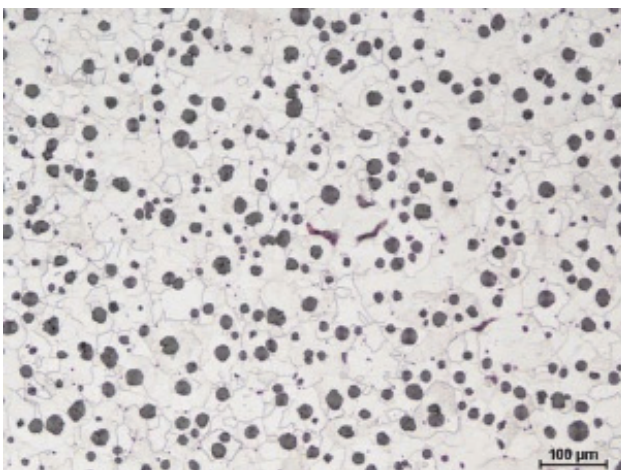


b) po leptání
b) after etching

Obr. 3 Ukázka snímků litiny s kuličkovým grafitem → tavba TD75
Fig. 3 Sample images of ductile iron → melt TD75



a) před leptáním
a) before etching



b) po leptání
b) after etching

Obr. 4 Ukázka snímků litiny s kuličkovým grafitem → tavba TO93
Fig. 4 Sample images of ductile iron → melt TO93

Závěr

V rámci uvedeného článku bylo provedeno porovnání dvou technologií modifikace a očkování v provozních podmínkách. Ve slévárně KOVOSVIT MAS Foundry, a.s. byla hodnocena výroba odlitku typu SCHAFT 1 z materiálu EN-GJS-400-18-LT při aplikaci klasické technologie → polévací metody / sandwich a inovované technologie →

plněných profilů pro modifikaci a očkování. Z výsledků zkoušek byly vyvozeny následující závěry:

- oba technologické postupy modifikace a očkování splnily parametry stanovené normou ČSN EN 1563 zaměřené na mez pevnosti, mez kluzu, tažnost a nárazovou práci při -20 °C pro materiál EN-GJS-400-18-LT pro odlitek typu SCHAFT 1,

- metalografickým hodnocením a analýzou struktury bylo zjištěno, že je získávána litina s kuličkovým grafitem obsahující vysoký počet grafitických částic s velkou nodularitou. Struktura je převážně feritická s méně než 2 % perlitu,
- na základě zde uvedených výsledků je tedy možné konstatovat, že slévárna KOVOSVIT MAS Foundry, a.s. úspěšně zavedla technologii plněných profilů pro modifikaci a předočkování litiny. Lze také konstatovat, že odlitky jsou kvalitativně srovnatelné s odlitky vyrobenými původní polévací metodou,
- v budoucnu je možné proces výroby zdokonalit využitím moderní technologie plněného profilu s dvoužilovým uspořádáním k modifikaci a očkování pouze plněným profilem, kdy v jedné žile bude modifikátor a v druhé očkovadlo.

Poděkování

Práce vznikla za podpory Ministerstva průmyslu a obchodu ČR v rámci programu TRIO, jako součást projektu FV 40036 „Výzkum a vývoj komplexní technologie výroby odlitků z vysoce jakostních tvárných litin“.

Literatura

- [1] LAINE, J., LEPPÄNEN, A., JALAVA, K., VAARA, J., FRONDELIS, T. and ORKAS, J. Ductile iron optimization approach for mechanically and thermally loaded components. *International Journal of Metalcasting*. 15 (2021) 3, 962-968. <https://doi.org/10.1007/s40962-020-00529-9>.
- [2] LIU, JH., YAN, JS., ZHAO, XB., FU, BG., XUE, HT., ZHANG, GX. and YANG, PH. Precipitation and evolution of nodular graphite during solidification process of ductile iron. *China Foundry*. 17 (2020) 4, 260-271. <https://doi.org/10.1007/s41230-020-0042-2>.
- [3] HARA, T., KITAGAWA, T., KUROKI, K., SAIKAWA, S., TERAYAMA, K., IKENO, S. and MATSUDA, K. Morphologies of Some Graphites in Ductile Cast Irons. *Materials Transactions*. 55 (2014) 9, 1500-1505. <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2014167>.
- [4] IACOVIELLO, F., IACOVIELLO, D., DI COCCO, V., DE SANTIS, A. and D'AGOSTINO, L. Classification of Ductile cast iron specimens based on image analysis and support vector machine. *Procedia Structural Integrity*. 3 (2017), 283-290. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2017.04.042>.
- [5] KIANI-RASHID, A.R. and ROUNAGHI, S.A. The New Methods of Graphite Nodules Detection in Ductile Cast Iron. *Materials and Manufacturing Processes*. 26 (2011) 2, 242-248. <https://doi.org/10.1080/10426914.2010.520788>.
- [6] FRANZEN, D., PUSTAL, B. and BÜHRIG-POLACZEK, A. Mechanical Properties and Impact Toughness of Molybdenum Alloyed Ductile Iron. *International Journal of Metalcasting*. 15 (2021) 3, 983-994. <https://doi.org/10.1007/s40962-020-00533-z>.
- [7] FRANZEN, D., PUSTAL, B. and BÜHRIG-POLACZEK, A. Influence of Graphite-Phase Parameters on the Mechanical Properties of High-Silicon Ductile Iron. *International Journal of Metalcasting*. (2022), <https://doi.org/10.1007/s40962-022-00761-5>.
- [8] YASUDA, H., SUGIYAMA, A., KIATTISAKSRI, C., MORISHITA, K., NAGIRA, T., YOSHIYA, M., UESUGI, K. and TAKEUCHI, A. X-Ray Imaging of Formation and Growth of Spheroidal Graphite in Ductile Cast Iron. *Material Science Forum*. 925 (2018), 104-109. <https://doi.org/10.4028/www.scientificnet/MSF.925.104>.
- [9] GEDEONOVÁ, Z. and JELČ, I. *Metallurgie litin*. Košice: HF TU. 2000, ISBN 80-7099-516-5.
- [10] OTÁHAL, V. *Tvárná litina (Litina s kuličkovým grafitem)*. Brno: Technicko-ekonomické poradenství. 2008.
- [11] ROUČKA, J. *Metallurgie litin*. Brno: PC-DIR. ISBN 80-214-1263-1. 1998.
- [12] GUZIK, E. and WIERZCHOWSKI, D. Using Cored Wire Injection Method in the Production of Austenitic High Ni Alloyed Ductile Iron Castings. *Archives of Metallurgy and Materials*. 58 (2013) 3, 969-972. <https://doi.org/10.2478/amm-2013-0112>.
- [13] WANG, HM., SHI, YM., WANG, Y. and SU, J. Numerical simulation of the spheroidization process with cored wire injection in liquid iron using finite volume method. *AIP Advances*. 11 (2021). <https://doi.org/10.1063/5.0039201>.
- [14] GUZIK, E. and WIERZCHOWSKI, D. Modern Cored Wire Injection 2PE-9 Method in the Production of Ductile Iron. *Archives of Foundry Engineering*. 12 (2012) 2, 25-28. <https://doi.org/10.2478/v10266-012-0030-0>.
- [15] OTÁHAL, V. *Šedá litina (Litina s lupínkovým grafitem)*. Brno: Technicko-ekonomické poradenství. 2007.
- [16] SOCHA, L., GRYC, K., SVIŽELOVÁ, J., CHMIEL, M., FRONKOVÁ, P., KOZA, K. and KACHLÍŘOVÁ, H. Study of ductile iron production for castings designated for extreme conditions. In *METAL 2021, 30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials*. Ostrava: Tanger Ltd. pp. 172-179. 2021, <https://doi.org/10.37904/metal.2021.4095>.
- [17] ČSN EN 1563. Slévárnictví – Litina s kuličkovým grafitem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [18] ČSN EN 945-1. Mikrostruktura litin – Část 1: Klasifikace grafitu vizuální analýzou. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [19] ČSN 42 0461. Hodnocení metalografické struktury litin. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1975.
- [20] ASTM A 247-17. Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2017.

MSV Metal Studénka získala certifikát EN ISO 14001:2015

Mezinárodně uznávanou normou vypovídající o ekologických postupech ve výrobě získala v těchto dnech dceřiná společnost Třineckých železáren MSV Metal Studénka. Od roku 2023 se bude moci pyšnit certifikátem pro Systém environmentálního managementu dle ISO 14001. Mezinárodní norma jí zvýší možnosti uplatnění výrobků na světových trzích. „Ochrana životního prostředí a udržitelné podnikání jsou dnes nezbytné faktory nejen pro plnění ekologické odpovědnosti, ale také pro uplatnění na trzích,“ potvrzuje generální ředitel společnosti Pavel Krajča. Dodává, že MSV Metal Studénka pracuje na dodržování ekologických postupů ve výrobních procesech dlouhodobě díky koncepční práci a investicím do modernizace výrobních zařízení. Nedílnou součástí je trvalá snaha o úsporu energií.

– z tiskové zprávy –